

## ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

## OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

УДК 681.7.015.25654.915

### ВЛАСТИВОСТІ ОПТИЧНИХ ВІКОН ДЛЯ СЕНСОРІВ ІЧ-ДІАПАЗОНУ

*В. А. Мокрицький<sup>1</sup>, Я. І. Лепіх<sup>2</sup>, О. С. Пашков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Одеський національний політехнічний університет,  
пр-т Шевченка, 1, тел. 288-751, E-mail: mokrickiy@mail.ru  
<sup>2</sup> Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

#### Анотація

#### ВЛАСТИВОСТІ ОПТИЧНИХ ВІКОН ДЛЯ СЕНСОРІВ ІЧ ДІАПАЗОНУ

*В. А. Мокрицький, Я. І. Лепіх, О. С. Пашков*

Досліджено властивості вікон сенсорів ІЧ діапазону, що використовуються для фотоприймачів, які працюють в умовах жорсткого випромінювання. Досліджено зміну властивостей вікон з кристалів германія, арсеніду галія, антимоніду індія. Показано, що такі зміни залежать від вихідних властивостей та появи структурних дефектів.

**Ключові слова:** напівпровідник, оптичне вікно, дефект, інфрачервоне випромінювання.

#### Abstract

#### PROPERTIES OF OPTICAL WINDOWS FOR IR SENSORS

*V. A. Mokritsky, Ya. I. Lepikh, A. S. Pashkov*

Properties of IR sensor windows which are used for the photodetectors working in conditions of hard radiation are investigated. Germanium, gallium arsenide and indium antimonide crystals windows property change is investigated. It is shown, that such changes depend on initial properties and occurrence of structural defects.

**Key words:** semiconductor, optical window, defect, infra-red radiation.

#### Аннотация

#### СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ ОКОН ДЛЯ СЕНСОРОВ ИК ДИАПАЗОНА

*В. А. Мокрицький, Я. И. Лепих, А. С. Пашков*

Исследованы свойства окон сенсоров ИК диапазона, которые используются для фотоприемников, работающих в условиях жесткого излучения. Исследовано изменение свойств окон из кристаллов германия, арсенида галлия, антимонида индия. Показано, что такие изменения зависят от исходных свойств и появления структурных дефектов.

**Ключевые слова:** полупроводник, оптическое окно, дефект, инфракрасное излучение.

Вплив жорсткого випромінювання (гамма-променів, швидких електронів, нейтронів, іонів) на напівпровідникові матеріали викликає квазістабільні зміни їх властивостей, пов'язані з утворенням первинних радіаційних дефектів: вакансій, міжвузлових атомів, розупорядкованих областей (РО). Їх взаємодія з різними недосконаlostями вихідної структури (наприклад, розчиненими домішками) призводить

до формування широкого набору активних центрів [1].

Найбільш ймовірним результатом впливу “низькоенергетичного” випромінювання буде утворення пар Френкеля (вакансія з міжвузловим атомом), для чого атому варто надати певну енергію, яку називають граничною. На даний час встановлені величини граничних енергій для великого числа напівпровідникових матеріалів (табл.1).

Таблиця 1

Порогова і гранична енергії утворення радіаційних дефектів у деяких напівпровідникових матеріалах при опроміненні швидкими електронами

Матеріал	Зміщений атом	Гранична енергія, $E_{гр}$ , кеВ	Порогова енергія, $E_{пор}$ , еВ	Температура опромінення, Т, К
Ge	Ge	360	14,5	289
		380	15,6	300
GaAs	Ga	228	8,8	-
	As	273	10,1	300
	Ga	-	17-18	77
InSb	In	247	5,8	77
	Sb	286	6,8	77

Зроблено також висновок про колективний механізм утворення пар Френкеля в напівпровідниках (про участь у процесі атомів декількох координаційних сфер), виявлене зменшення граничної енергії з ростом температури і її анізотропія [1].

При збільшенні енергії і маси бомбардуючих часток атом віддачі, вибитий з вузла ґратки, у результаті вторинних зіткнень створює сукупність точкових дефектів у малому локальному об'ємі напівпровідника. Цей єдиний протяжний дефект із специфічними властивостями називається розупорядкованою областю (РО), гранична енергія утворення якої для германія, наприклад, складає 15-20 кеВ. Опромінення частками будь-якого виду, поряд з РО, завжди створює і велике число точкових дефектів (ТД). Співвідношення між концентраціями РО і ТД залежить від енергії і типу бомбардуючих часток, домішкового і дефектного складу опромінюючого матеріалу, а також від умов опромінення (доза, температури опромінення, щільності потоку часток і ін.). Розділити внесок РО і ТД у деградацію параметрів кристалів і напівпровідникових приладів досить важко.

Матеріал для ІЧ оптичної системи повинен мати високу прозорість у цій області спектра, бути досить міцним, добре оброблятися, бути відносно недорогим і досить стабільним у часі по своїх властивостях і стійким до радіації. На

жаль, поки не має універсальних матеріалів, що одночасно задовольняли б усім перерахованим вище вимогам. Для виготовлення лінз, призм, оптичних вікон і інших елементів оптичних систем застосовуються спеціальні сорти скла, природні і синтетичні кристали, пластмаси та ін. Звичайні оптичні стекла пропускають інфрачервоне випромінювання тільки до 2 мкм, тому їх застосовують лише для приладів, що працюють у ближньому ІЧ діапазоні спектра. Кварцові призми пропускають ІЧ-випромінювання до  $\lambda=3,5$  мкм (тонкі — до 5 мкм), і тільки сульфоселенідні стекла виявляються прозорими до 12-14 мкм, охоплюючи весь середній ІЧ-діапазон. З кристалічних матеріалів (природних і синтетичних) пропускають тільки ІЧ-випромінювання, будучи зовсім непрозорими у видимій області спектра, кристали германія, починаючи з  $\lambda \geq 1,8$  мкм. Причому, пропускання кристалічних речовин сильно залежить від ступеня їх чистоти. Так, германій *n*-типу високої чистоти добре пропускає випромінювання аж до мікрохвильового діапазону електромагнітних коливань.

Вимоги, що пред'являються до матеріалів для вікон приймачів, можна розділити на чотири групи. Вони відносяться до оптичних, механічних, температурних і хімічних характеристик.

Основною вимогою, що пред'являється до

матеріалу вікна, є як найбільше пропускання в бажаному діапазоні довжин хвиль.

Пропускання оптичних матеріалів залежить від втрат на відбиття і від коефіцієнта поглинання. Матеріали з великим показником заломлення мають великі втрати на відбиття, тому що для неполяризованого ІЧ-випромінювання, що падає перпендикулярно до площини розмежування повітря і напівпровідникового матеріалу з показником переломлення  $n_f$ , величина коефіцієнта відбиття  $R_\lambda$  визначається наступним виразом:

$$R_\lambda = \left( \frac{n_f - 1}{n_f + 1} \right)^2. \quad (1)$$

Великий показник переломлення викликає великі втрати на відбиття і істотно зменшує ефективність напівпровідникових фотоелектричних приладів, тому що потужність випромінювання  $P_0$ , що проникає всередину матеріалу, залежить від потужності падаючого випромінювання  $P$  і від коефіцієнта відбиття:

$$P_0 = P(1 - R_\lambda). \quad (2)$$

З (2) для ІЧ оптичного вікна з напівпровідника видно, що велике відбиття сильно знижує коефіцієнт корисної дії фотоприймача. Так, у  $ZnSe$  втрати при пропусканні випроміню-

вання за рахунок відбиття досягають 50 % при  $\lambda = 10,6$  мкм. Для заданої спектральної ділянки втрати на відбиття можна істотно зменшити нанесенням плівок, що просвітлюють, (наприклад,  $ZnS$  для середнього і довгохвильового ІЧ-діапазонів). Застосовуючи покриття, що просвітлюють, можна збільшити пропускання матеріалів вікон до 90 %.

Другим важливим параметром оптичних матеріалів є коефіцієнт поглинання, який у загальному випадку залежить від ступеня їх чистоти. Вплив домішок на властивості матеріалу особливо добре виявляється на прикладі напівпровідників, властивості яких при збільшенні домішок і температури, наближаються до металів.

Таким чином, зміна властивостей оптичних вікон сенсорів ІЧ-діапазону залежить від вихідних властивостей напівпровідникових матеріалів і структурних дефектів, пов'язаних з жорстким випромінюванням.

### Література

1. С.В. Лесков, О.І. Ликов, В.А. Мокрицький, В.В. Зубарев. Оптоелектроніка інфрачервоного діапазону: матеріали, прилади, системи. — Одеса: Поліграф, 2005. — 356 с.